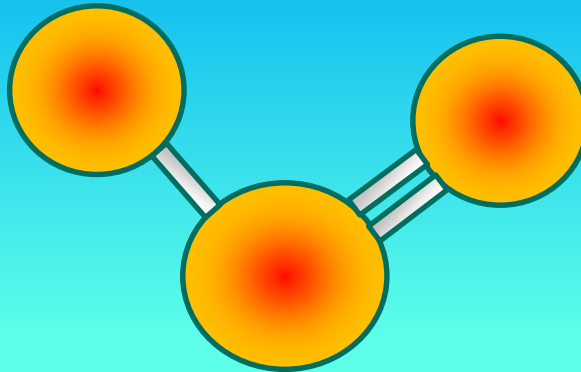


# Die Dialektik des Ozons, früher und heute, oben und unten – Marker für den Übergang ins Anthropozän

Stefan Emeis  
stefan.emeis@kit.edu

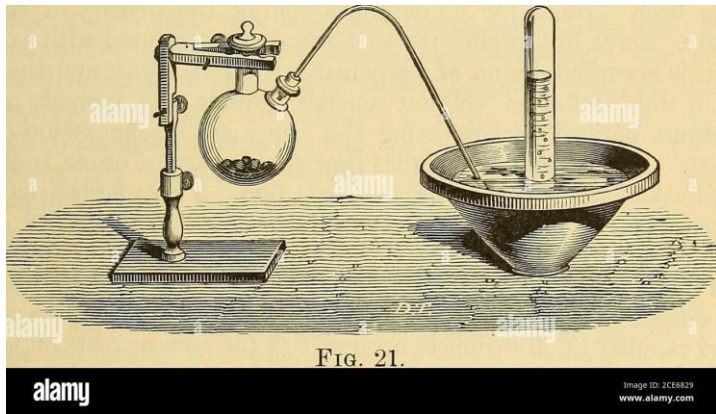
INSTITUT FÜR METEOROLOGIE UND KLIMAFORSCHUNG, ATMOSPHERISCHE UMWELTFORSCHUNG, IMK-IFU  
AG Regionale Kopplung von Ökosystem-Atmosphäre-Prozessen



## Verbindung zu früheren Stoffgeschichten

Ozon entsteht, wenn man Sauerstoff über weißen Phosphor leitet (Geruch, Leuchten)

Ozon zeigt eine mindestens mit dem Phosphor vergleichbare Ambivalenz



<https://www.alamy.de/elemente-der-modernen-chemie-oder-blau-durch-ammoniak-ozon-61-phosphor-werden-in-eine-flasche-mit-viel-wasser-eingebracht-um-sie-nur-halb-einzutauchen-und-das-ganze-wird-von-zeit-zu-zeit-agi-tated-in-kurzer-zeit-wird-die-luft-in-der-flasche-mit-einer-kleinen-menge-ozon-aufgeladen-laut-schonbein-der-diese-tatsachen-beobachtet-hat-entsteht-ozon-bei-allen-langsam-verbrennungen-wenn-also-das-ol-des-tur-pentins-unter-dem-einfluss-des-sonnenlichts-der-luft-ausgesetzt-wird-wird-es-langsam-oxidiert-und-wenn-es-resinifiziert-wird-wird-es-gleichzeitig-mit-einer-kleinen-menge-ozon-aufgeladen-daser-image370160961.html>

[https://ia600708.us.archive.org/view\\_archive.php?archive=/22/items/crossref-pre-1909-scholarly-works/10.1002%252Fandp.18892720316.zip&file=10.1002%252Fandp.18902750302.pdf](https://ia600708.us.archive.org/view_archive.php?archive=/22/items/crossref-pre-1909-scholarly-works/10.1002%252Fandp.18892720316.zip&file=10.1002%252Fandp.18902750302.pdf)

1890.

## ANNALEN DER PHYSIK UND CHEMIE. NEUE FOLGE. BAND XXXIX.

№ 3.

### *I. Ueber Ozonbildung an glühenden Platinflächen und das electriche Leitungsvermögen der durch Phosphor ozonisirten Luft; von Julius Elster und Hans Geitel.*

Bei der Discussion der Resultate unserer Untersuchung, betreffend die Electricitätserregung beim Contact verdünnter Gase mit galvanisch glühenden Drähten<sup>1)</sup> hatten wir auf die von anderen Beobachtern bemerkte Thatsache Bezug genommen, dass die Luft in der Umgebung einer Bunsenflamme oder eines glühenden Platindrahtes sich mehr oder weniger ozonhaltig erweist.<sup>2)</sup>

Für die Flamme ist diese ozonisirende Wirkung bekanntlich so auffällig, dass sie mit den einfachsten Mitteln nachgewiesen werden kann; genügt es doch, einen Luftstrom aus feiner Oeffnung durch den Saum einer Bunsenflamme zu treiben, um eine dem Geruchsinn unmittelbar wahrnehmbare Menge Ozon zu erzeugen.<sup>3)</sup> In der Umgebung glühender Metallflächen ist die Wirkung weit weniger hervortretend, ja, wie wir glauben möchten, nicht einmal mit ausreichender Schärfe nachgewiesen.

Es schien uns nicht ohne Bedeutung, mit Sicherheit festzustellen, ob auch in dieser Beziehung, wie bei den electricen Erscheinungen, ein Parallelismus zwischen den Vorgängen in der Nähe von Flammen mit denen an der Be-

1) J. Elster u. H. Geitel, Wien. Ber. 97. IIa. p. 1175. 1888 u. Wied. Ann. 37. p. 315. 1889.

2) Vgl. R. v. Helmholtz, Wied. Ann. 32. p. 14. 1887.

3) Muspratt, Chemie. Artikel Ozon.  
Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XXXIX.

# Dialektik

**Duden** (unter anderem):

die einer Sache innewohnende Gegensätzlichkeit

**Volksmund:**

Jedes Ding hat zwei Seiten

Beim Ozon werden sogar **vier** Seiten gesehen!

**früher/oben:  
UV-Strahlung**

**Strahlungsfiler**

**früher/unten:  
Blitze und Phosphor**

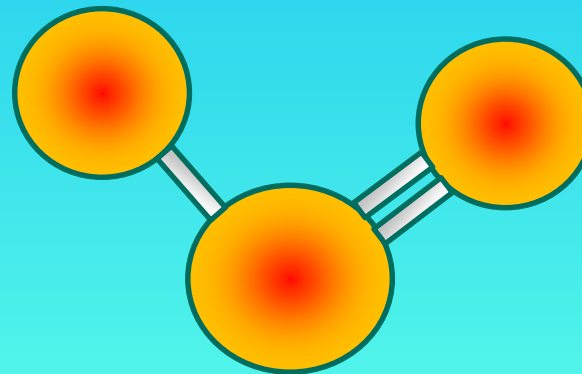
**reinigende Wirkung**

**heute/oben:  
UV-Strahlung vs. FCKWs**

**bedrohter Schutz**

**heute/unten:  
Abgase und Sonne**

**Schadstoff**



# Gliederung

1 Früher/unten

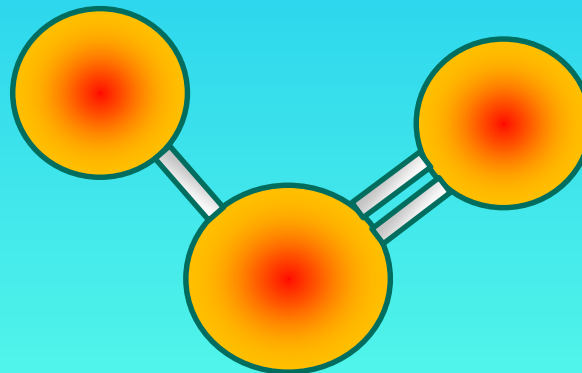
2 Früher/oben

3 Heute/unten

4 Heute/oben

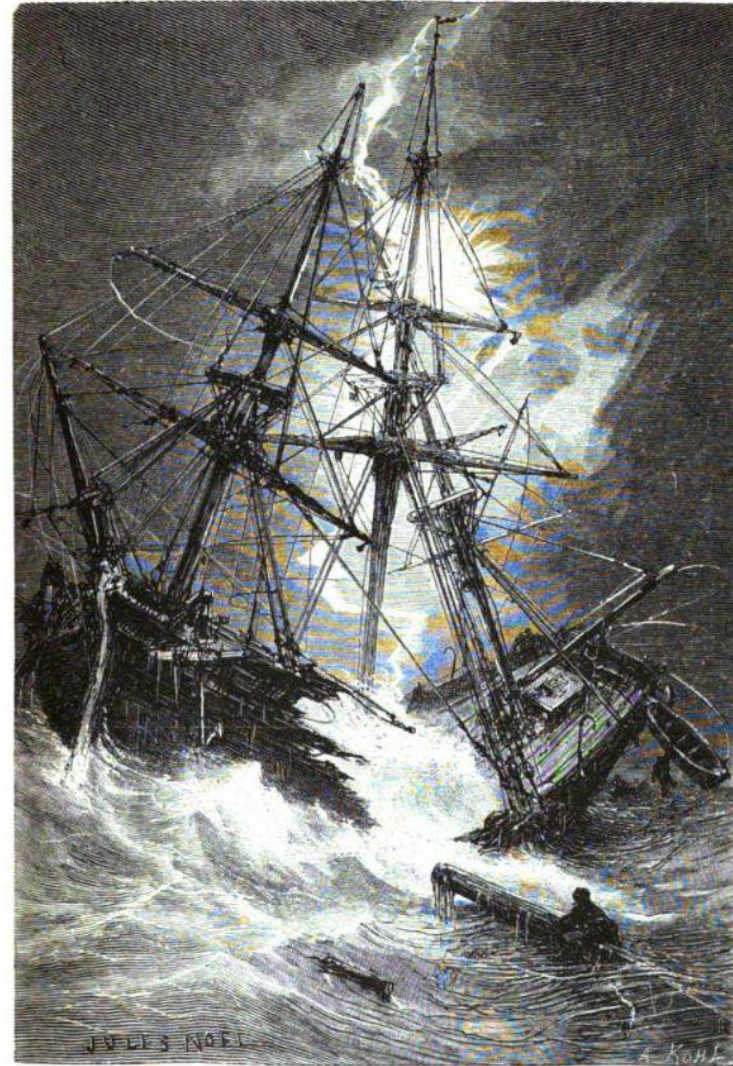
5 Kühlmittel und Ozonloch

6 Diskussion



**Homer, Odyssee, 12. Gesang:**

**Und nun donnerte Zeus; der  
hochgeschleuderte Strahl schlug  
schmetternd ins Schiff: und ...  
alles war Schwefeldampf**



*Schiff, vom Blitze gespalten.*

<https://books.google.de/books?id=MUI7AQAIAAJ>

# Früher/unten

**1785** Martin von Marum: Geruch beim Betrieb von Elektrisiermaschinen

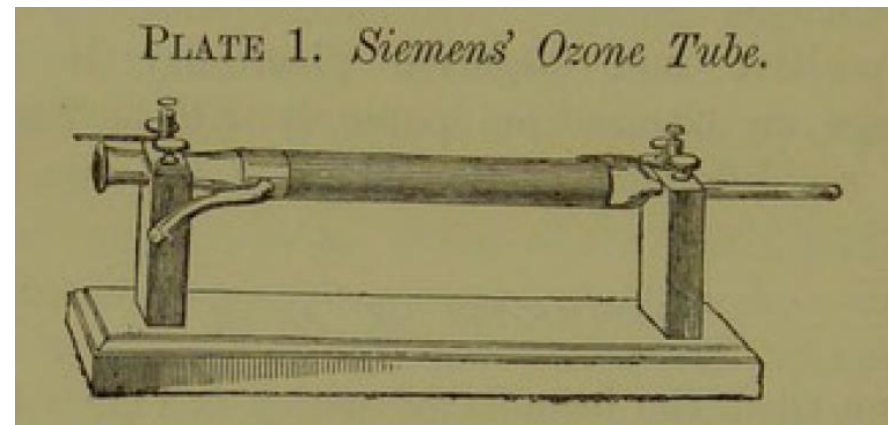
**1839** Christian Friedrich Schönbein: Ozon ist ein Gas: das „Riechende“  
anfangs vermutet er eine Stickstoffverbindung

**1857** Werner von Siemens baut  
Apparat zur Ozonerzeugung

**1865** J.L. Soret: Ozon ist  $O_3$

**1891** Wilhelm Ohmüller: Einsatz  
von Ozon zur  
Wasserreinigung

**1906** Meyers Lexikon: kein  
Zusammenhang zwischen  
Ozon in der Luft und  
Heilsamkeit („ozonhaltige  
Waldluft“)



Fox, 1873

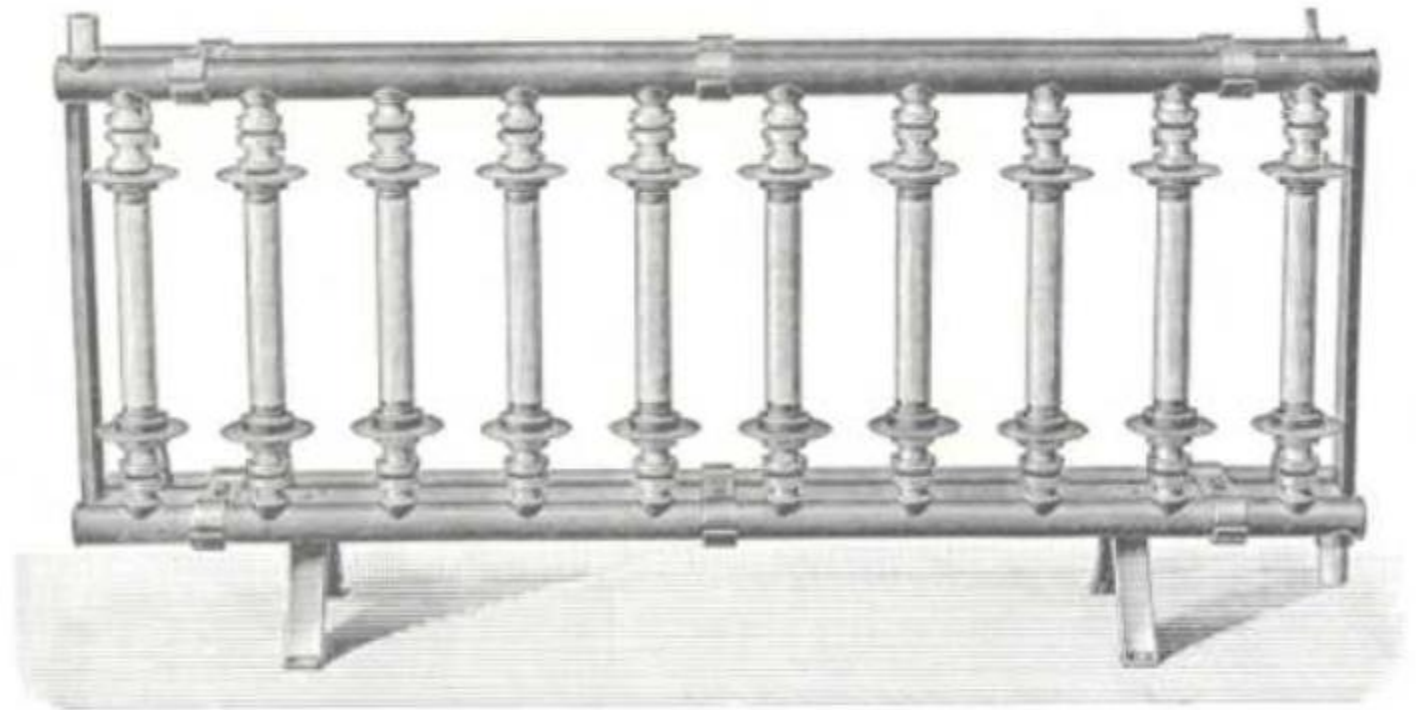


<http://physik.uibk.ac.at/museum/de/details/electr/ozon.html>

**Katalog der Erzeugnisse  
der Firmen Siemens & Halske  
und Siemens-Schuckertwerke  
im Deutschen Museum zu München,  
1906**

Nr. 335.

Ozongitter.



<https://docplayer.org/44646032-.html>



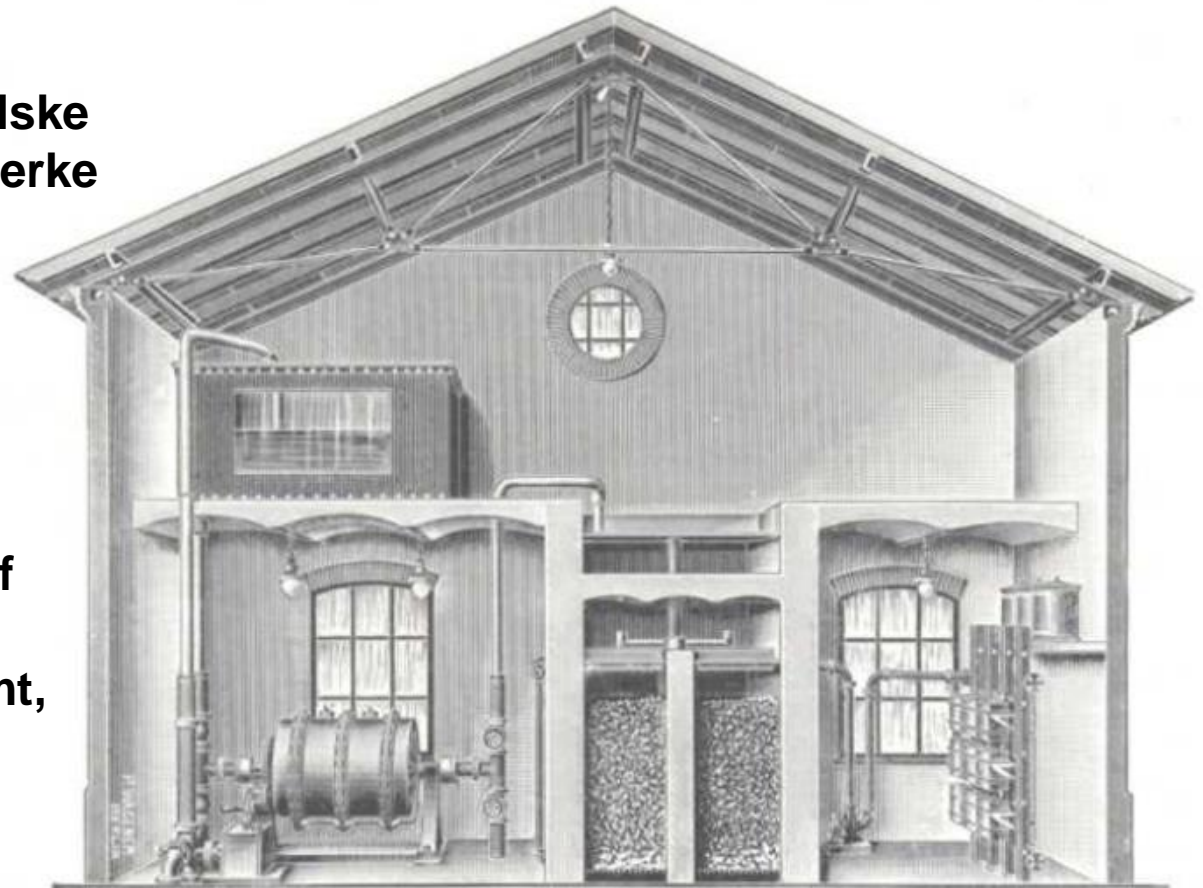
Nr. 337.

Modell eines Ozonwasserwerks.

**Katalog der Erzeugnisse  
der Firmen Siemens & Halske  
und Siemens-Schuckertwerke  
im Deutschen Museum  
zu München, 1906**

**basierend auf:**

**Ohlmüller, 1891: Über die  
Einwirkung des Ozons auf  
Bakterien. Arbeiten a.  
d. Kaiserl. Gesundheitsamt,  
8, 229-251.**



<https://docplayer.org/44646032-.html>

# Früher/unten

eigene Erinnerung an Ozongeruch:

Höhensonne in der städtischen Fürsorgestelle in Berlin seit den 1920er Jahren, eigene Erfahrung in den 1960er Jahren

Strahlt bis zur Reife Deinem Kind  
Der „Höhensonne“ Segen  
Gesundheit, Kraft es dann gewinnt  
Auf seinen Lebenswegen!



*Sie meistern*

buch-sokrates

*das Leben besser!*

... nur einige Minuten tägliche Bestrahlung gibt Ihnen neue Spannkraft, Gesundheit und Lebensfreude.

Geräte schon ab DM 95.-

**„HÖHENSONNE“**  
-ORIGINAL HANAU-

QUARZLAMPEN GESELLSCHAFT M.B.H. HANAU  
POSTFACH 21

[https://sokrates-digital.de/php\\_skripte/detailseite.php?ID=WB+901887](https://sokrates-digital.de/php_skripte/detailseite.php?ID=WB+901887)



**Hilfe für das blasse Kind!**

Wie Kraft der schwächsten Kreatur Durch Sonne wird gegeben, So stärkt die „Höhensonnen-Kur“ Des Kindes zartes Leben.	Durchweht mit Kraft das junge Sein, Läßt Wachstum so gestalten, Daß Geist und Körper in Verein Harmonisch sich gestalten.	Strahlt bis zur Reife Deinem Kind Der „Höhensonne“ Segen, Gesundheit, Kraft es dann gewinnt Auf seinen Lebenswegen!
--	---	---

**„HÖHENSONNE“** -Original-Hanau-

<https://docplayer.org/192202217-Seuchen-und-gesundheit-unterrichtsmaterialien-zur-medizinund-sozialgeschichte-hamburgs-fachverband-geschichte-und-politik-hamburg-vgd-dvpb.html>

**Der Glaube an die reinigende und heilende Wirkung hält sich lange**

**Wasserdesinfektion mit Ozon gibt es noch heute**

(<https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2021/februar-2021/wasserdesinfektion-mit-ozon.html>)

**Alternativmedizin:**

**1972 Gründung der Deutschen Gesellschaft für Ozontherapie  
Niedrig-Ozon-Therapien**

<https://www.ozongesellschaft.de/>

**Ozon-Eigenblutbehandlung und der rektalen Insufflation (Einblasung)**

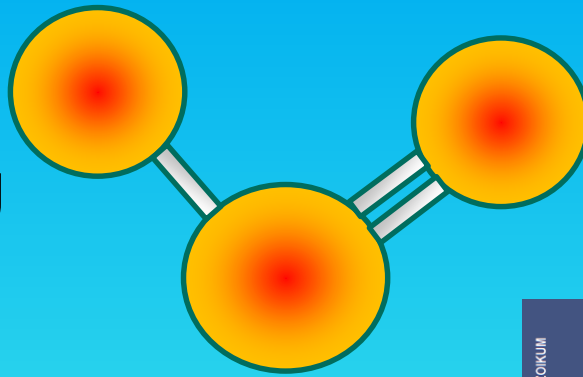
**Angiopathien und arterielle Durchblutungsstörungen**

**Rheumatoide Arthritis, Schmerztherapie**

**Hepatitis**

**Komplementäre Onkologie**

früher/oben:  
Ozonbildung



eine Fernwirkung

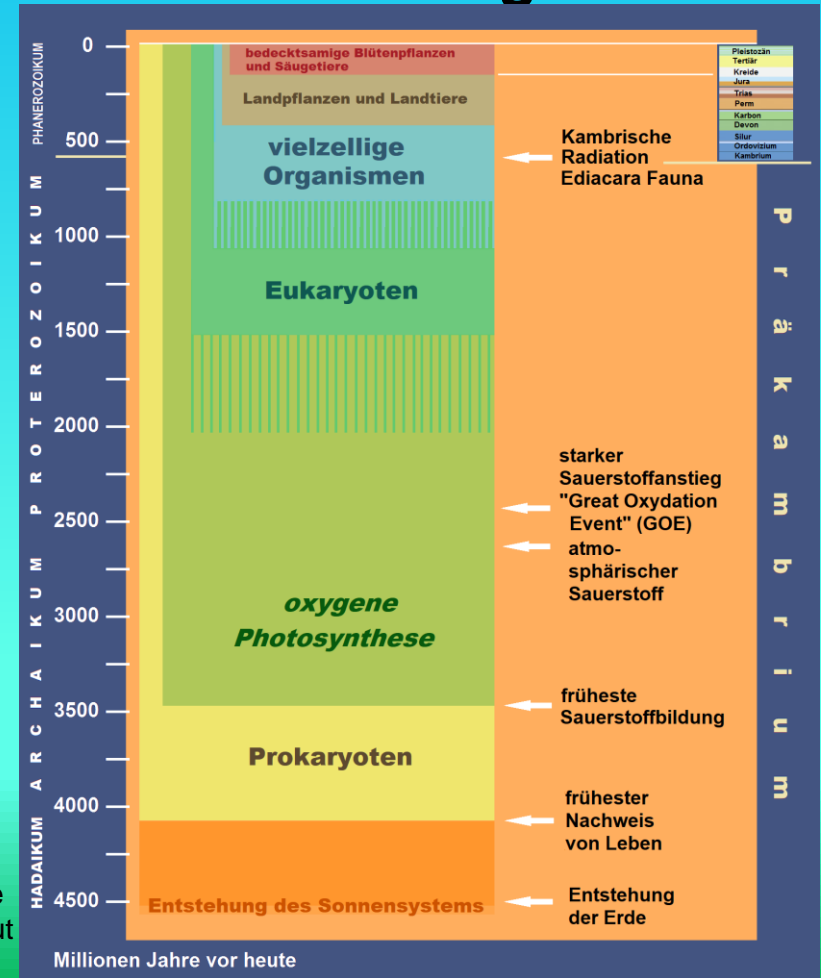
schuf erst Voraussetzung  
für das heutige Leben

Erster Hinweis auf eine Verknüpfung  
zwischen unten und oben



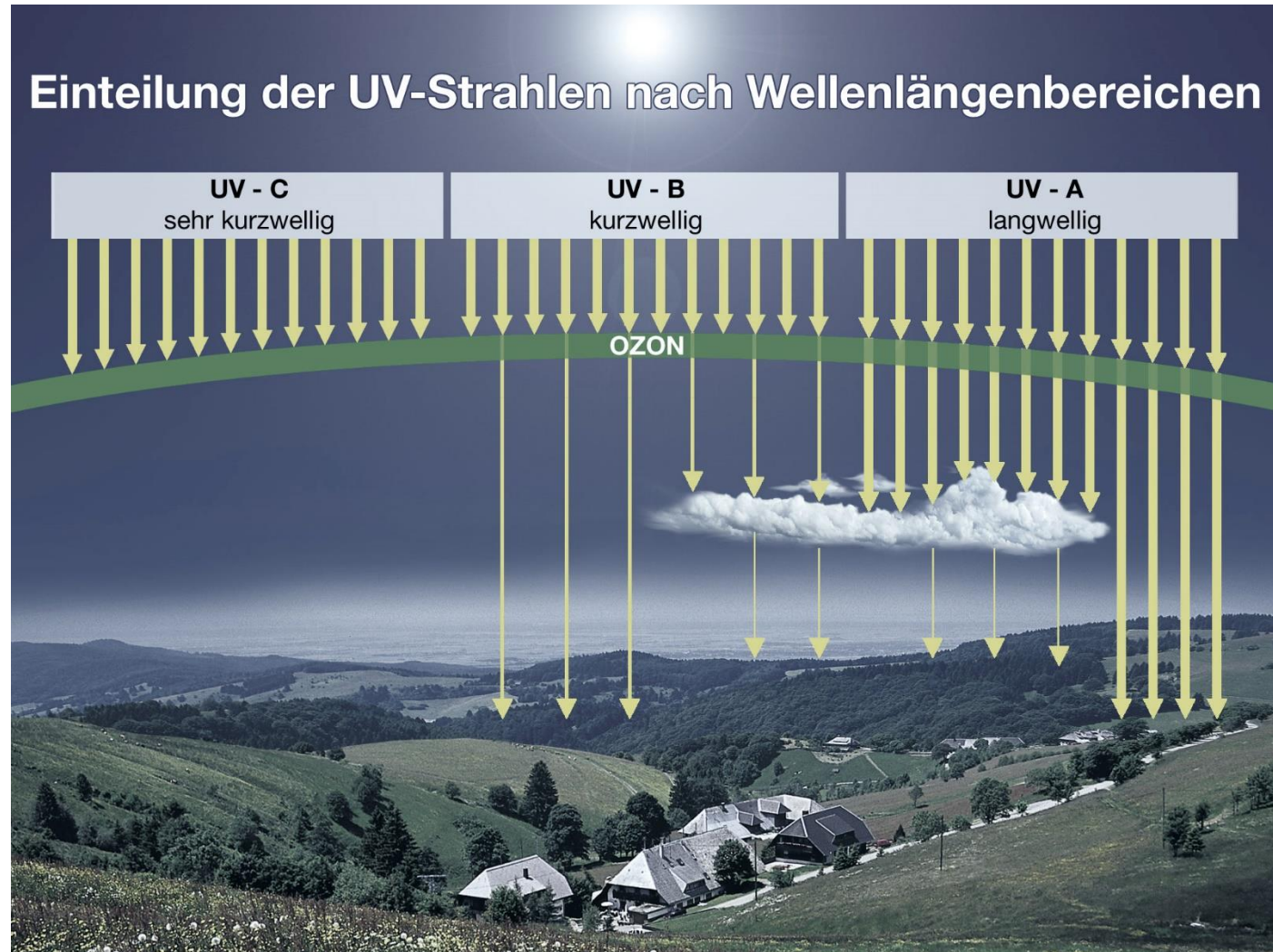
früher/unten:  
Sauerstoffproduktion  
durch Photosynthese

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Zeitskala\\_Evolution\\_Pr%C3%A4kambrium.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Zeitskala_Evolution_Pr%C3%A4kambrium.png)



## Schutzwirkung des stratosphärischen Ozons

Voraussetzung für die Entstehung des Lebens auf der Erde in der heutigen Form



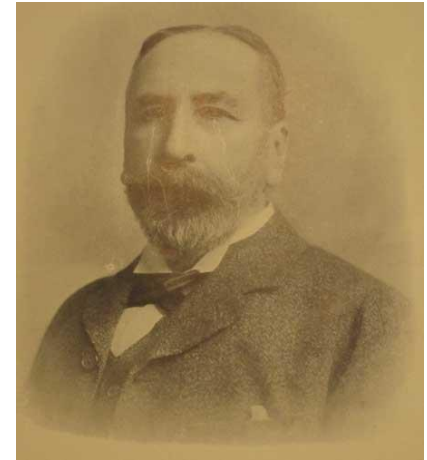
<https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/einfuehrung/einfuehrung.html>

**Marie Alfred Cornu, 1841-1902**  
frz. Physiker, entdeckte 1879  
die UV-absorbierende Funktion  
von Ozon

**Walter Noel Hartley, 1847-1913**  
irischer Chemiker, vermutete  
1881 Ozon in der Hochatmosphäre,  
nach ihm ist die Hartley-UV-  
Absorptionsbande des Ozon benannt



[https://de.wikipedia.org/wiki/Alfred\\_Cornu](https://de.wikipedia.org/wiki/Alfred_Cornu)



[https://www.ucd.ie/merrionstreet/1910\\_hartley.html](https://www.ucd.ie/merrionstreet/1910_hartley.html)

# Früher/oben

**Fabry und Buisson 1913, 1921 erste verlässliche Messungen Ozonsäulengehalts, spekulierten, dass Ozon durch die solare UV-Strahlung gebildet wird.**

**Dobson entwickelt 1924 in Oxford seinen Spektrographen zur Ozonmessung.**

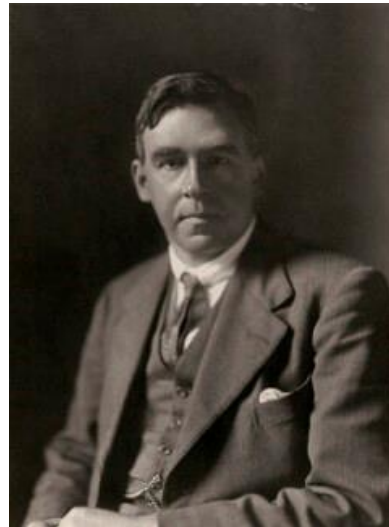
**Chapman 1930 erste Ansätze zur stratosphärischen Ozonchemie  
Aber bis in die 1960er Jahre hinein konnten diese Ansätze die Beobachtungen nicht ausreichend erklären.**



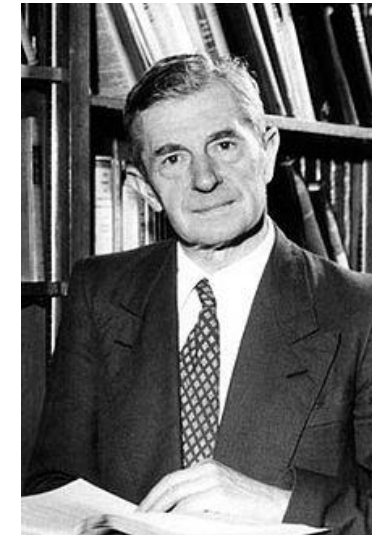
Charles Fabry, 1867-1945, frz. Physiker, [https://de.wikipedia.org/wiki/Charles\\_Fabry](https://de.wikipedia.org/wiki/Charles_Fabry)



Henri Buisson, 1873-1944, frz. Physiker, <https://www.timetoast.com/timelines/la-cap-a-de-ozono-589594e2-c6ce-4a54-8691-1bcb26f41a79>



Gordon Miller Bourne Dobson, 1889-1976, <https://www.npg.org.uk/collections/search/use-this-image/?mkey=mw218247>

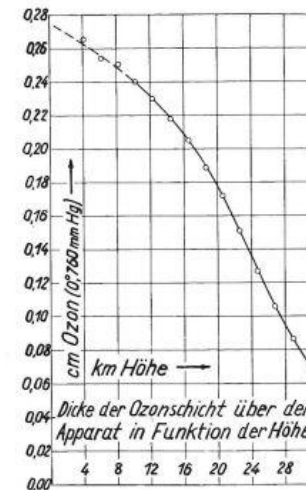
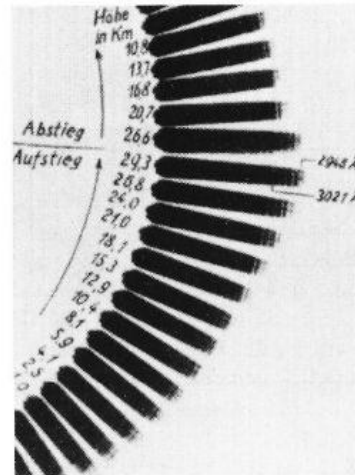


Sidney Chapman, 1888-1970, brit. Physiker, [https://de.wikipedia.org/wiki/Sydney\\_Chapman](https://de.wikipedia.org/wiki/Sydney_Chapman)

## First ozone profile measurements by a balloon-borne instrument



**Erich Regener**  
 (1881-1955)  
 (MPI for the physics of the stratosphere)  
 Wiessenau, Württemberg  
 (with his son Victor H. Regener)



Original spectra of the first measurement of the vertical ozone distribution by E. and V.H. Regener on **31 July 1934**, and the evaluated total ozone above the balloon from these spectra. The spectrograph looked downward at a magnesium oxide scattering disk illuminated by direct sunlight. A **photographic record** of the spectrum was made at regular intervals during ascent. As the altitude increased, **the spectrum extended farther into the UV**

[https://www7.obs-mip.fr/wp-content-aeris/uploads/sites/22/2019/09/Hemera\\_1.1\\_C\\_Camy-Peyret\\_final.pdf](https://www7.obs-mip.fr/wp-content-aeris/uploads/sites/22/2019/09/Hemera_1.1_C_Camy-Peyret_final.pdf)

**REGENER, E., V.H. REGENER, 1934: Aufnahmen des ultravioletten Sonnenspektrums in der Stratosphäre und vertikale Ozonverteilung. Phys. Z. 35, 788–793.**



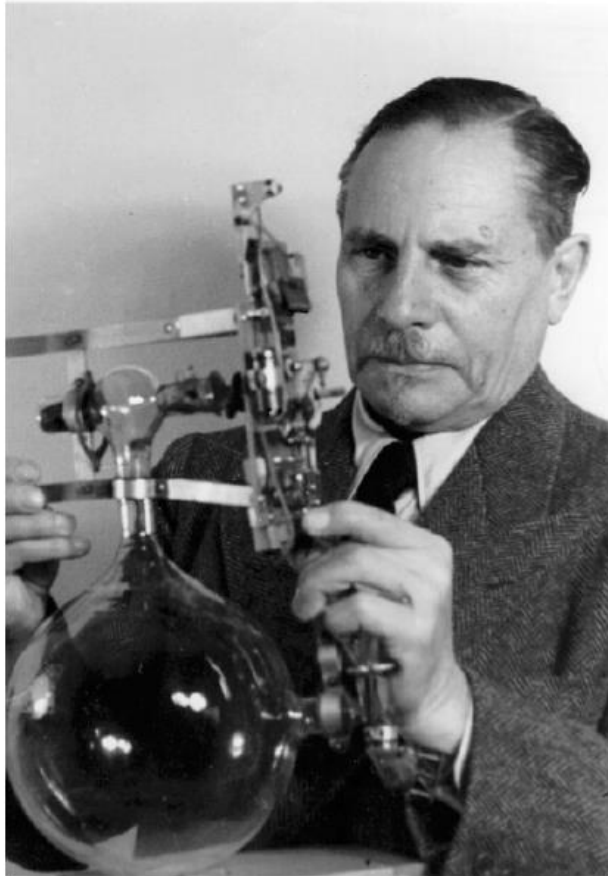


Figure 1: Erich Regener in 1954. He is shown holding an automatic air sampler for balloon-borne operation. (Photo courtesy of the Max Planck Society).

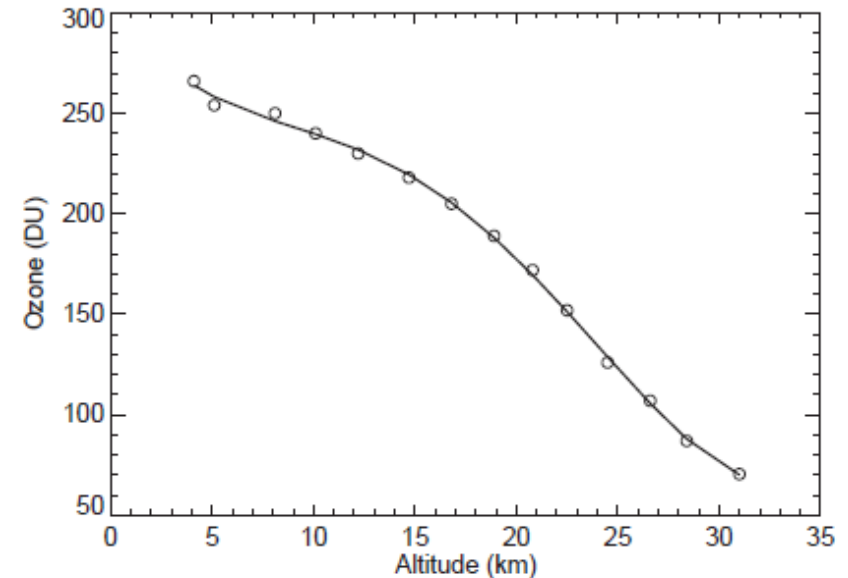


Figure 2: The first balloon-borne measurement of the vertical distribution of ozone in the atmosphere from Stuttgart (48.8°N) on 31 July 1934 (REGENER and REGENER, 1934). Here, the original measurements of REGENER and REGENER are shown reported as column ozone above the balloon. Note that the absolute values reported by REGENER and REGENER (1934) were deduced from relative measurements assuming a value of 240 DU at 10 km. The altitude was deduced as a log-pressure height from the pressure recorded on the balloon payload.

Müller, 2009: A brief history of stratospheric ozone measurements. *Meteorol. Z.*, 18, 3-24.

## Früher/oben

**In den 1960er Jahren erste Messungen von Stickstoffverbindungen in der Stratosphäre. John Hampson, kanad. Forscher, spekulierte 1964 über deren Einfluss auf das stratosphärische Ozon.**

**Zweiter Hinweis auf eine Verknüpfung zwischen unten und oben:**

**Paul J. Crutzen, 1933-2021, niederl. Meteorologe und Atmosphärenchemiker, stellte 1970 den Mechanismus des katalytischen Ozonabbaus über Stickoxide aus durch Photolyse zerlegtes Lachgas vor.**

**Crutzen spekulierte daher 1976, ob Lachgas aus einer überdüngten Landwirtschaft schädlich für die Ozonschicht sein könnte.**



Teemu Rajala - Eigenes Werk, CC BY 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10746599>

**Arie Jan Haagen-Smit, 1900-1977, niederl. Chemiker, publiziert erstmals 1952 über die Ursachen des Photosmogs in Los Angeles**

Haagen-Smit, A.J., 1952: Chemistry and physiology of Los Angeles smog. *Industrial & Engineering Chemistry*, 44, 1342-1346.



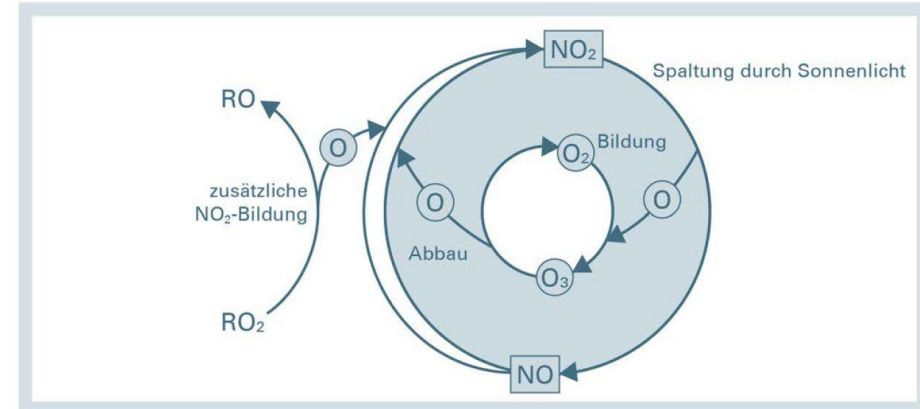
<https://www.britannica.com/science/smog#ref16459> © Daniel Stein/iStock.com

## Ozonbildung durch Photochemie

dadurch Ozonmaxima  
nachmittags im Lee von  
großen Schadstoffquellen

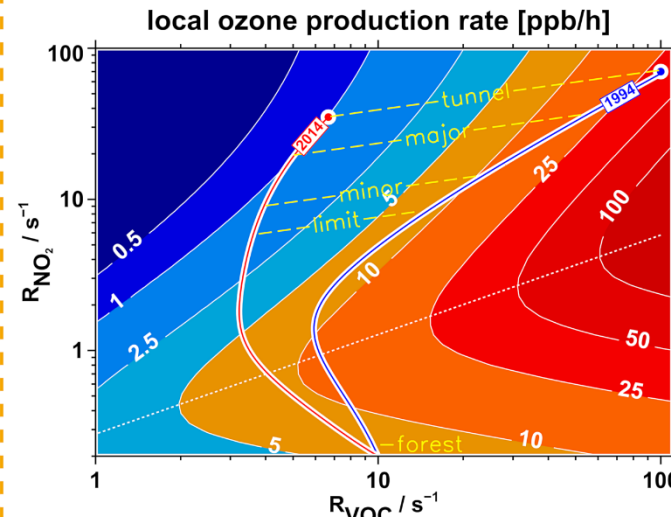
nächtliche Maxima  
durch vertikale  
Durchmischung möglich

hinter Kaltfronten kann  
stratosphärisches Ozon  
bis unten gemischt werden



[https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw\\_47\\_bodennaehes\\_ozon.pdf](https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_47_bodennaehes_ozon.pdf)

### Exkurs zur Ozonproduktion



Hier sind die Ozonproduktionsraten von 1994 und 2014 im Vergleich zu sehen. Die beiden Kurven starten in Innenstadtlagen - 1994 lag dort die Ozonproduktionsrate deutlich über der von 2014!

In den Waldgebieten gleichen sich die Kurven wieder an, denn dort spielen die Stadtemissionen keine Rolle mehr; wohl aber biogene Kohlenwasserstoffe!



[https://www.fzj.de/iek/iek+8/DE/Forschung/ReaktiveSpurenstoffe/EnergiebezogeneEmissionen/Ozonhistorie\\_node.html](https://www.fzj.de/iek/iek+8/DE/Forschung/ReaktiveSpurenstoffe/EnergiebezogeneEmissionen/Ozonhistorie_node.html)

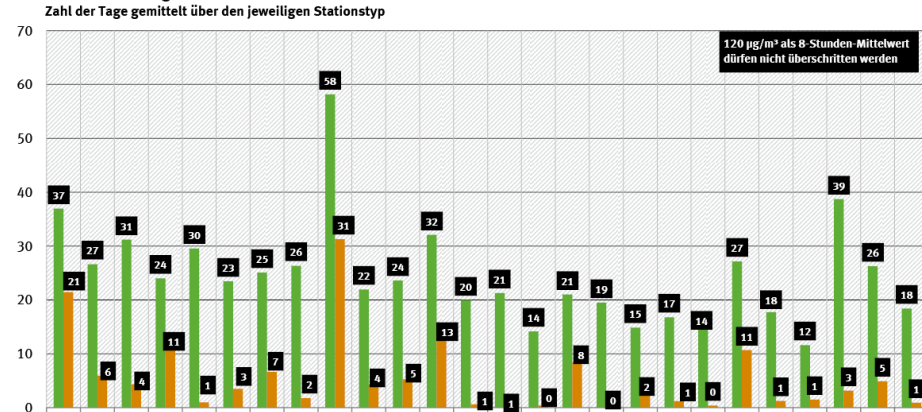
# Heute/unten

**Ozon-Grenzwertüberschreitung  
in den letzten 25 Jahren  
(120 µg/m<sup>3</sup> über 8 Stunden)**

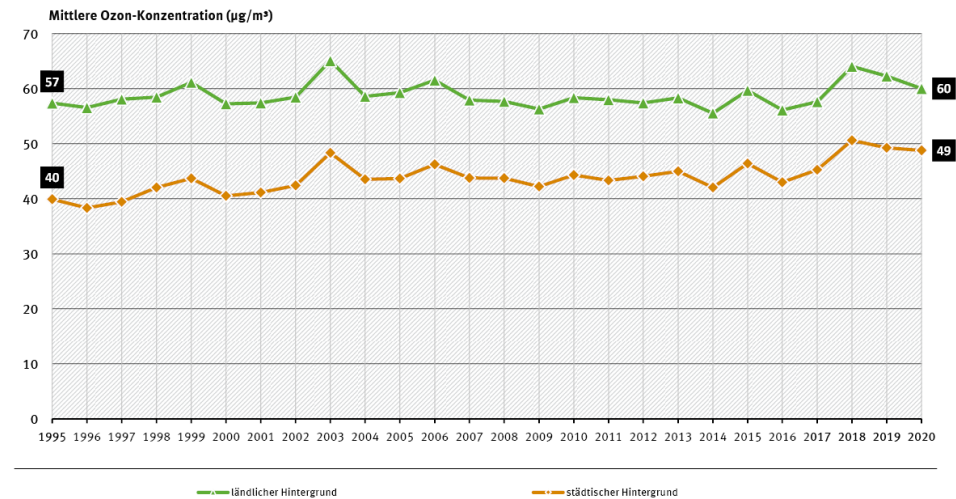
**Ozon-Jahresmittelwert**

**jeweils 1995-2020 in  
Deutschland**

Zahl der Tage mit Überschreitung des Ozon-Langfristziels (120 µg/m<sup>3</sup>) zum Schutz der menschlichen Gesundheit, Mittelwert über ausgewählte Stationen



Trend der Ozon-Jahresmittelwerte



Quelle: Umweltbundesamt 2021

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/ozon-belastung#zielwerte-und-langfristige-ziele-fur-ozon>

**Spitzenwerte der bodennahen Ozonkonzentrationen haben durch Luftreinhaltemaßnahmen etwas abgenommen  
(weniger NO<sub>x</sub> und VOCs)**

**Jahresmittelwerte dagegen nicht → gleichmäßigere Verteilung des Ozons über den Tag hinweg  
(weniger titrierendes NO)**

**Grenzwerte werden immer noch unzureichend eingehalten**

**Molina und Rowland (1974), Crutzen (1975) und Molina und Rowland (1975) erkannten aus Chemie-Modellierungen, dass CFCs (FCKW) der Ozonschicht gefährlich werden könnten.**

**Erste Maßnahmen zur Reduzierung der CFCs wurden ergriffen.**

**Erstmals dokumentiert und thematisiert wurde das Ozonloch von Farman et al. (1985). Stolarski et al. (1986) benutzten erstmals den Begriff Ozonloch.**

**Ab 1987 zwischenstaatliche Übereinkommen zur Reduktion der CFCs (Montreal-Protokoll und weitere).**

**1995 Nobelpreis an Crutzen, Molina, Rowland**

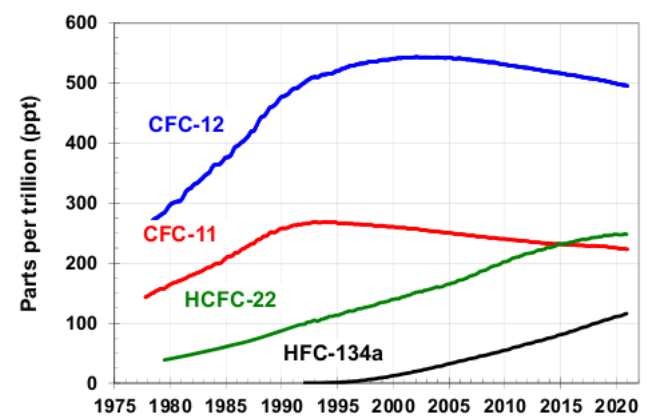
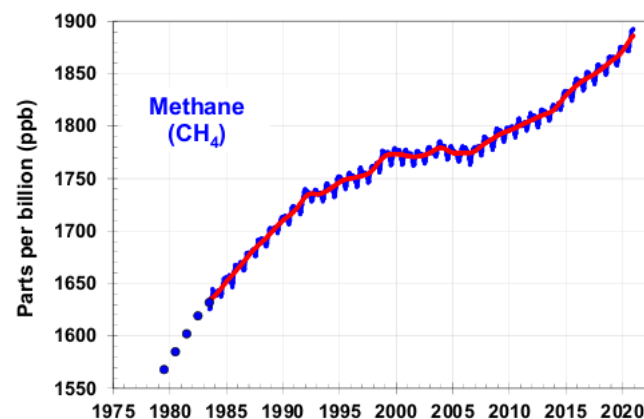
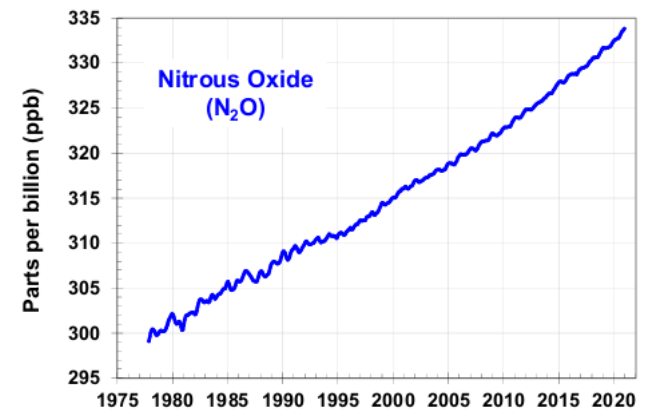
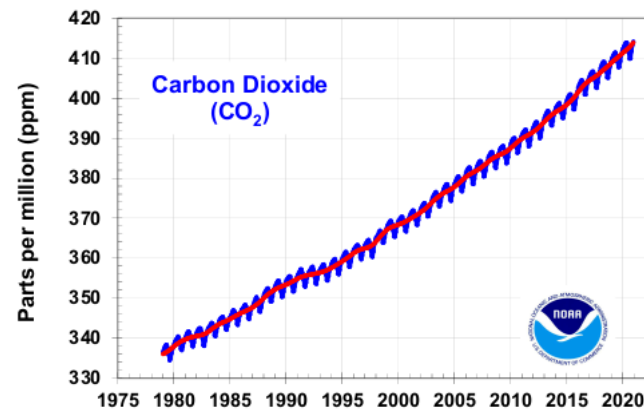


[www.kva.se](http://www.kva.se)



**KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIEN**  
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES  
[www.kva.se](http://www.kva.se)

**CFC-11 und CFC-12 nehmen seit den 1990ern wieder ab (Montreal), HCFC-22 nimmt seit ca. 2020 wieder ab (Kigali), HFC-134a nimmt weiter zu.**

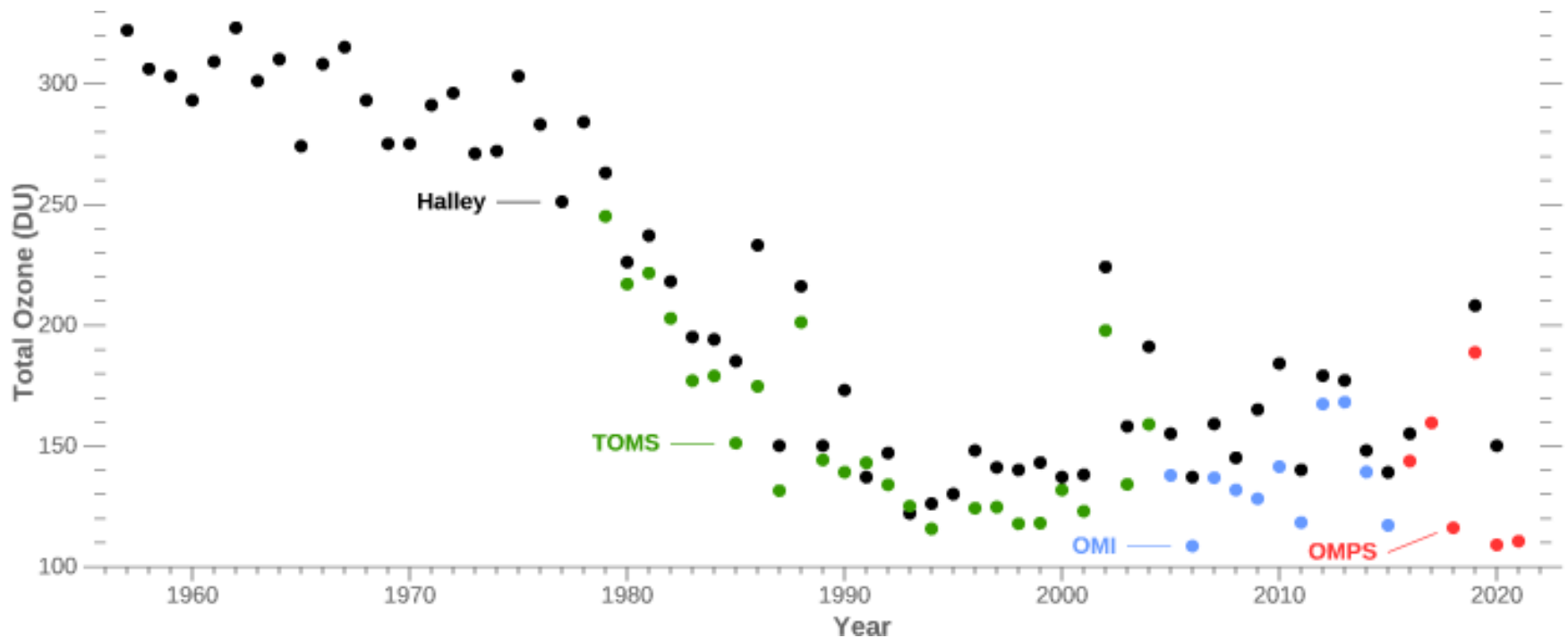


<https://gml.noaa.gov/aggi/aggi.fig2.png>



## Ozon erholt sich langsam

### minimale Ozonkonzentration im Oktober über der Antarktis



[https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/history\\_SH.html](https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/history_SH.html)

# Kühlschränke und Ozonloch

**Eisschrank, Stuttgart, um 1900**

**musste mehrmals pro Woche mit Eis befüllt werden**

**Eis wurde in „Eiskellern“ gelagert**

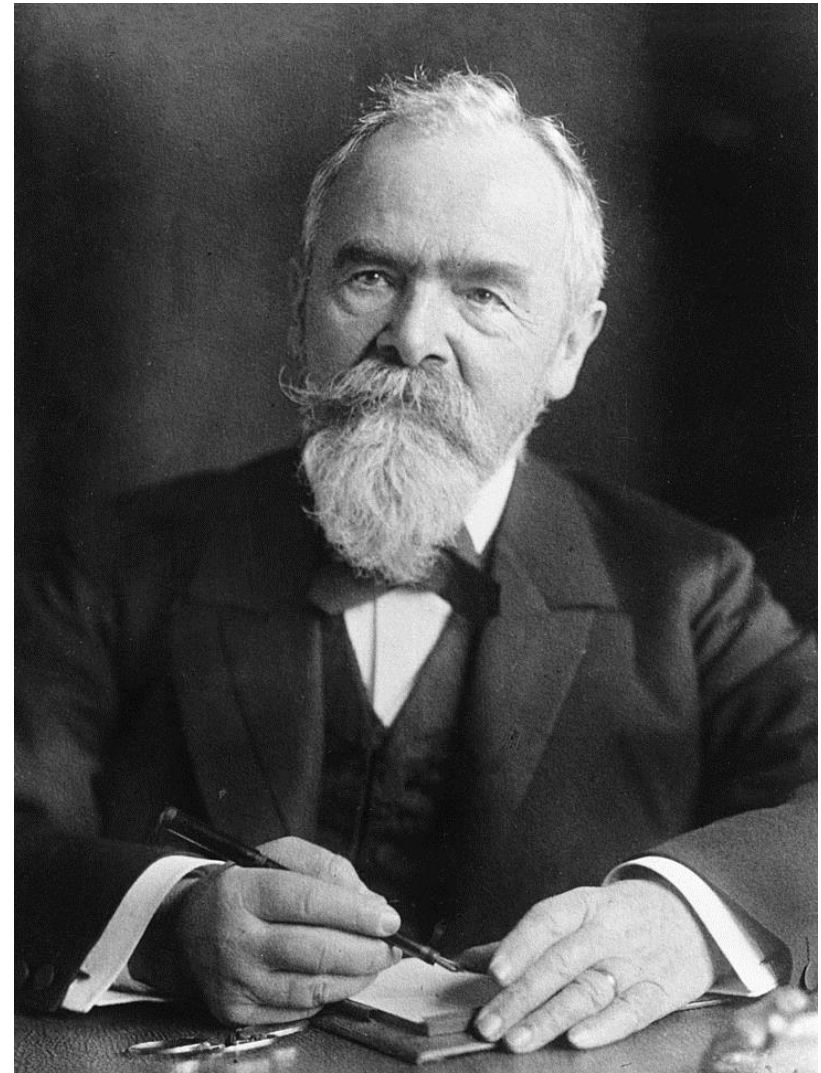


[https://de.wikipedia.org/wiki/Eisschrank#/media/Datei:Eisschrank\\_ca1900\\_1.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Eisschrank#/media/Datei:Eisschrank_ca1900_1.jpg)

# Kühlschränke und Ozonloch

**Carl von Linde (1842-1934)**

**Ab 1866 leitete er in München das Konstruktionsbüro einer Lokomotivenfabrik, ab 1868 war er Professor am Polytechnikum München. 1873 entwickelte von Linde eine Methylläther-Eismaschine (Kühlschrank) und 1876 einen Ammoniak-Kühlapparat (Klimaanlage). Diese Patente waren die Grundlage für eine eigene Eismaschinenfabrik.**



[https://de.wikipedia.org/wiki/Carl\\_von\\_Linde#/media/Datei:Carl\\_von\\_Linde\\_1925.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Carl_von_Linde#/media/Datei:Carl_von_Linde_1925.jpg)

# Kühlschränke und Ozonloch

**Thomas Midgley, Jr. (1889-1944)**

**Er war ein US-amerikanischer Maschinenbauingenieur, der als Chemiker tätig war.**

**Er entwickelte sowohl das Benzinadditiv Tetraethylblei als auch die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW).**

**Beides anfangs segensreich, später problematisch.**



<https://en.wikipedia.org/wiki/File:ThomasMidgleyJr.jpg>

# Kühlschränke und Ozonloch

In den 1920 wurden Kühlschränke mit Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), Chlormethan ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ), oder Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) betrieben. Alle Stoffe sind giftig, brennbar und explosiv. Es kam zu Todesfällen.

Thomas Midgley wurde zusammen mit anderen von der General Motors Research Company beauftragt, ein ungiftiges Kühlmittel zu entwickeln.

Midgley synthetisierte Dichlorfluoromethan ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ), heute als Freon oder R12 bekannt, den ersten FCKW (engl.: CFC und HCFC)

Er demonstrierte die Ungiftigkeit und Unbrennbarkeit, in dem er es einatmete und damit dann eine Kerze ausblies.<sup>1</sup>

Mit solchen Kühlmitteln betriebene elektrische Kühlschränke traten danach ihren Siegeszug an und wurden zumindest in der ersten Welt schnell zum Standard und Ausweis der Lebensqualität.

<sup>1</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Thomas\\_Midgley](https://de.wikipedia.org/wiki/Thomas_Midgley)

**1975 wurde klar, dass FCKWs am Ozonabbau beteiligt sind**

**1985 wurde das Ozonloch in der Stratosphäre über der Antarktis entdeckt**

**1987 Protokoll von Montreal zur Beendigung der Verwendung von FCKW, trat 1989 in Kraft, wurde später mehrfach ergänzt**

**Erster Quereffekt zum Klimawandel (zusätzliches GWP):**

**Durch die durch das Montreal-Protokoll vermiedene Treibhauswirkung der FCKW wäre bis 2100 eine weitere Erwärmung aufgetreten.**

**Somit hilft das Montreal-Abkommen auch bei der Bekämpfung des Klimawandels.**

**Aber die höhere Klimawirksamkeit der Ersatzstoffe H-FKW macht diesen Effekt wieder zunichte.**

# Kühlschränke und Ozonloch

Fig. 3 aus Anderson et al. (2013)

Vermiedene globale Erwärmung durch Warnung vor und letztlichem Verbot von ozonschädigen FCKWs

rot: CO<sub>2</sub>-getriebener Klimawandel

grün: Einfluss der FCKWs ohne Molina, Rowland und Crutzen

blau: Einfluss der FCKWs ohne Montreal Protokoll

schwarz: reale Entwicklung ozonzerstörender FCKW

alles in: CO<sub>2äq</sub>/Jahr

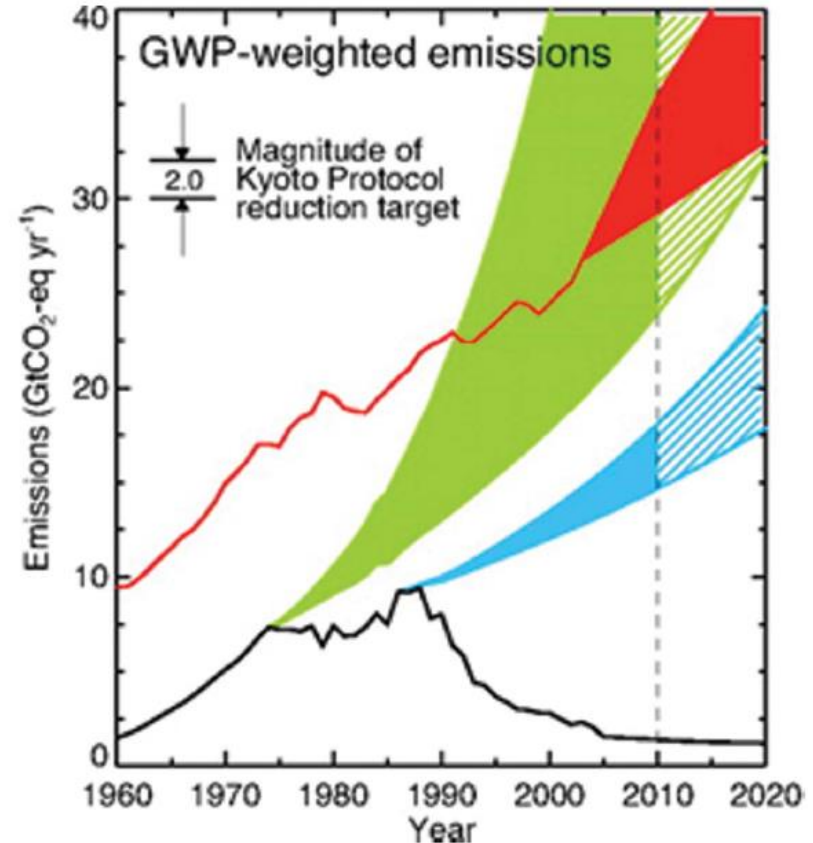


Figure 3. CO<sub>2</sub>-equivalent emissions under various scenarios. The red line represents historic and predicted future global CO<sub>2</sub> emissions. The green area represents the CO<sub>2</sub>-eq of ODS emissions that would have occurred if Molina and Rowland had not warned the world about CFCs (could have been greater than CO<sub>2</sub>!). The blue area represents the CO<sub>2</sub>-eq of ODS emissions without the Montreal Protocol. The area below the blue line represents the total climate protection provided by the Montreal Protocol, estimated at ~11 Gt CO<sub>2</sub>-eq (Velders et al., 2007). The black line is the actual CO<sub>2</sub>-eq ODS emissions as reduced by the Montreal Protocol.

# Kühlschränke und Ozonloch

Fig. 5 aus Anderson et al. (2013)

Ersatzstoffe für FCKWs sind H-FKWs (engl. HFCs), die auch sehr klimawirksam sind.

Daher müssen auch diese ersetzt werden durch HFO 1234yf (Tetrafluorpropen).

Im Abkommen von Kigali (2016) geregelt.

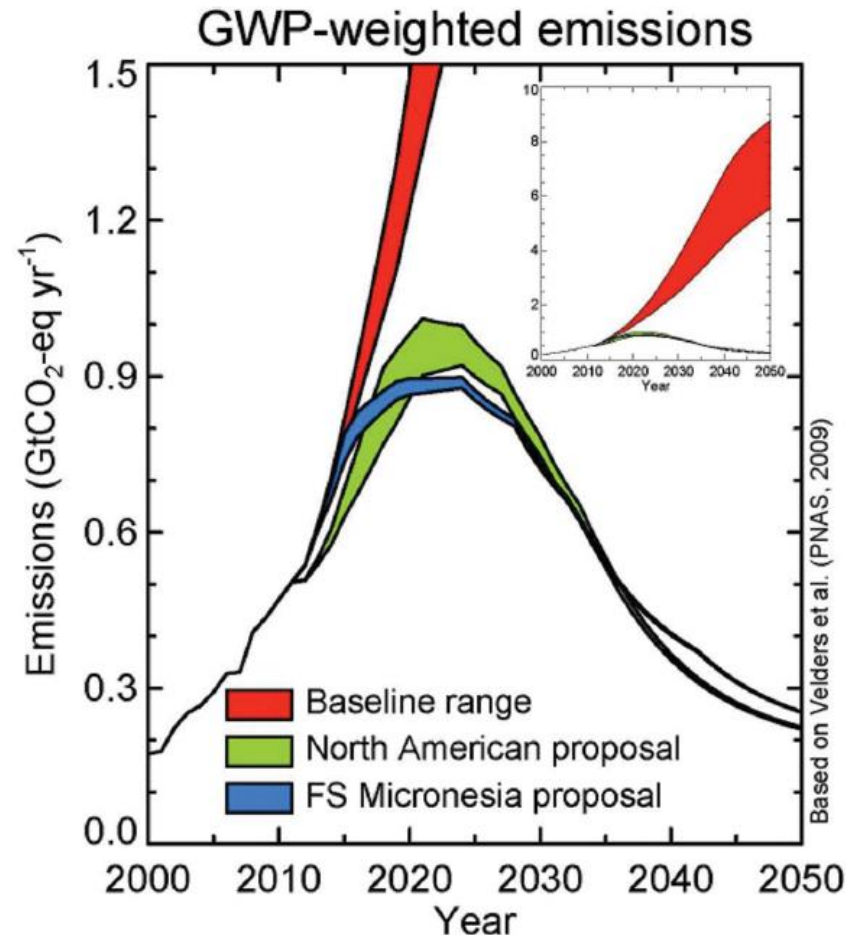
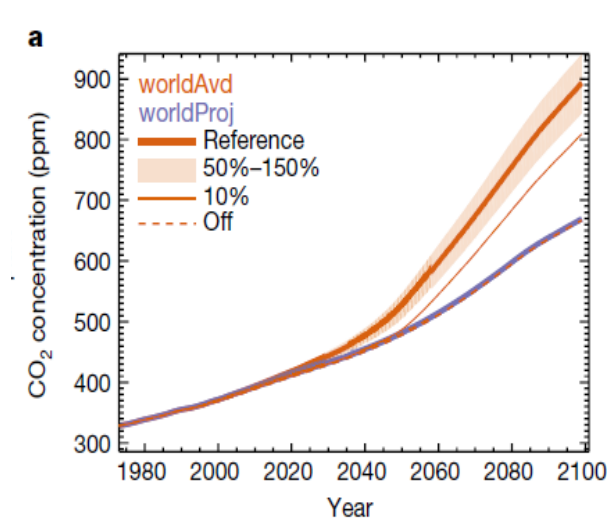
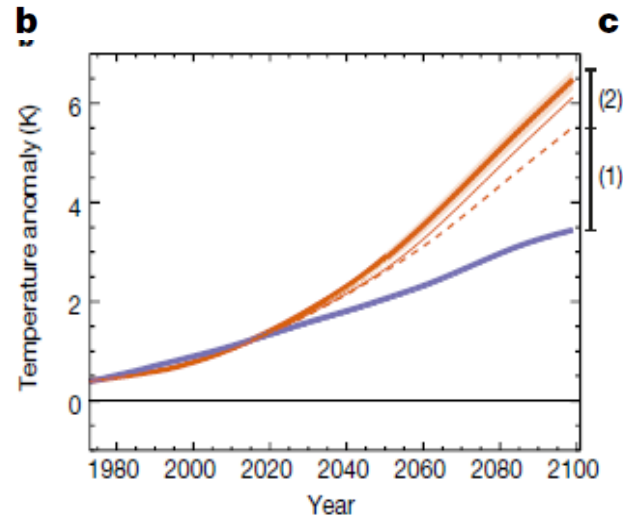
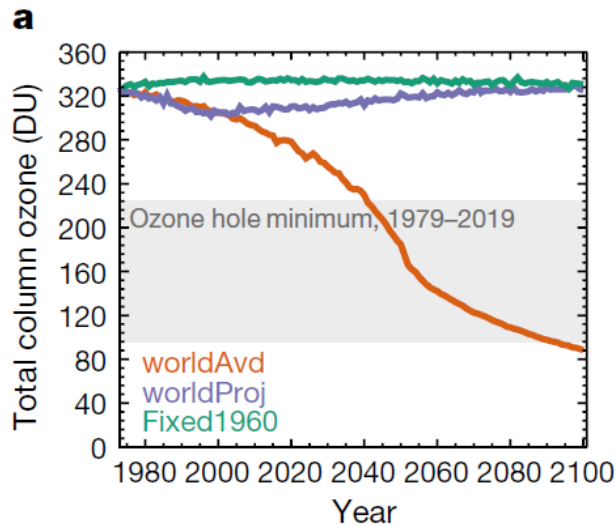


Figure 5. Cumulative decrease of direct GWP-weighted emissions of HFCs under the proposed Micronesian and North American Amendments to the Montreal Protocol.



# Kühlschränke und Ozonloch



**Zweiter Quereffekt zum Klimawandel (reduziertes Pflanzenwachstum durch erhöhte UV-Strahlung)**

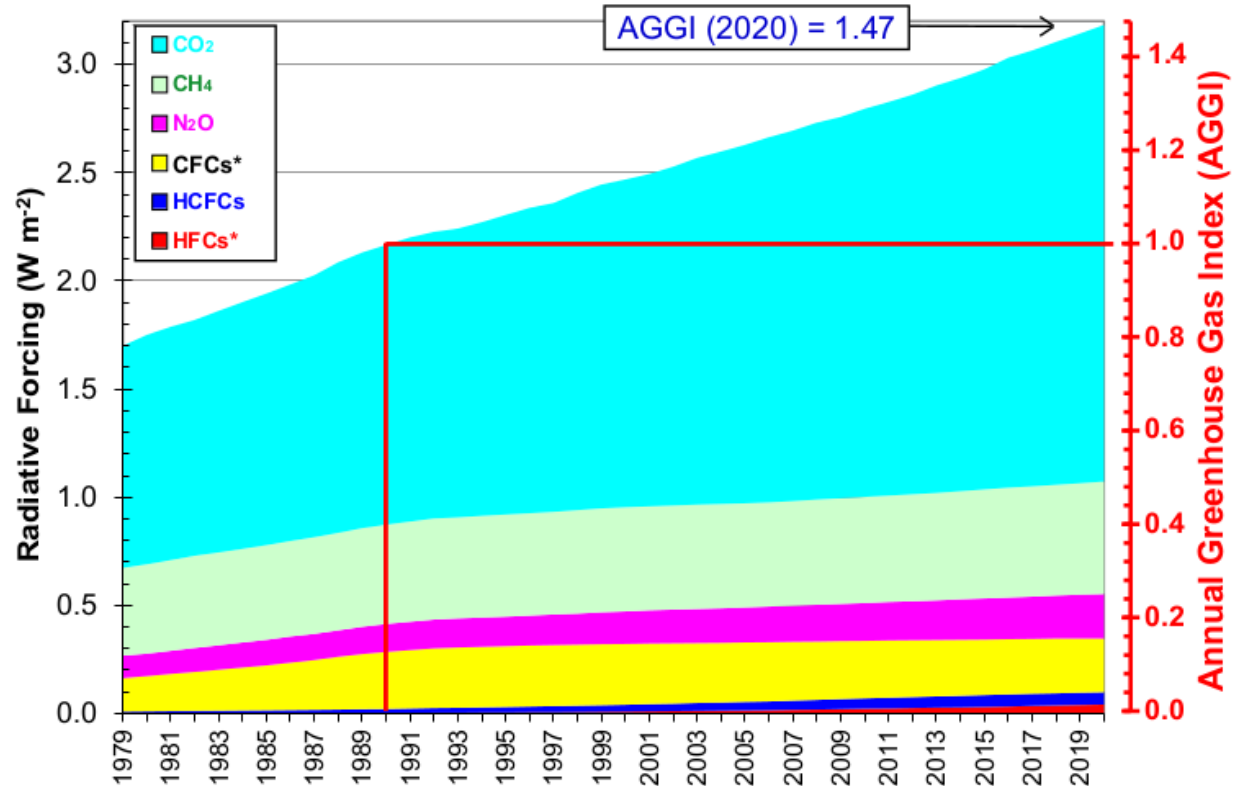
**Zu der durch das Montreal-Protokoll entgangenen Treibhauswirkung der FCKW (1) wäre bis 2100 eine weitere Erwärmung (2) von 0,5 bis 1 Grad durch das durch UV reduzierte Pflanzenwachstum aufgetreten.**

**(Young et al. 2021, Nature, <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03737-3>)  
grün: FCKWs konstant seit 1960, blau: real, orange: 3% p.a. FCKW-Anstieg**

# Kühlschränke und Ozonloch

**Geschichte ist mit Kigali 2016 noch nicht zu Ende!**

**Treibhausgaswirkung der CFCs, HCFCs und HFCs.**



<https://gml.noaa.gov/aggi/aggi.fig3.png>

## Generelle Erkenntnis aus der „Kühlschränk“-Geschichte

**Handlungen zur Problemvermeidung schaffen in der Regel neue Probleme!**

**Globale Verknüpfungen über lange Zeiträume und große Entfernungen hinweg machen das Aufdecken solcher Zusammenhänge schwierig.**

**Hier: Entgiftung der Kühlschränke auf der Nordhalbkugel (bodennahe Atmosphäre) führt zu Ozonloch in der oberen Atmosphäre auf der Südhemisphäre ca. 50 Jahre später**

**Alt: Schonung der europäischen Wälder um 1700 führt über die Zerstörung der Moore und der fossilen Brennstoffnutzung zur globalen Klimaerwärmung ca. 300 Jahre später**

**Uralt: Rodung der Wälder im Mittelmeerraum lange vor der Zeitenwende führt zur Bildung des heutigen trockenheißen Mittelmeerklimas**

## Anthropozän

**Der Wandel im Blick auf das Ozon von früher zu heute (Abnahme oben und Zunahme unten) ist ein Marker für den Übergang ins Anthropozän. Diese Übergänge werden von Crutzen und Stoermer (2000) gleichwertig zu den CO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub>-Emissionen und den Landnutzungsänderungen genannt.**

**Beim Ozon ist dieser Übergang in die Mitte des 20. Jahrhunderts zu legen.**

**Beim CO<sub>2</sub> erfolgt er schon 200 Jahre früher.**

**Damit schlagen Crutzen und Stoermer insgesamt vor, den Beginn des Anthropozäns auf das Ende des 18. Jahrhunderts zu legen.**

**Crutzen, P.J., E.F. Stoermer, 2000: The „Anthropocene“. IGBP Newsletter 41, 17-18.**

## Nichtlineares gekoppeltes Gesamtsystem Erde

Die Ozonproblematik zeigt auch einmal mehr, dass im Gesamtsystem Erde die Dinge vielfältig miteinander verwoben sind. Änderungen an einer Stelle (hier das Ersetzen des giftigen Ammoniaks durch die für den Menschen ungefährlichen CFCs) können später anderswo dramatische und bedrohliche Konsequenzen haben (das Ozonloch).

## Nachhaltigkeit

**Die Abhängigkeiten im gekoppelten System bewirken mit Blick auf die FCKW und das Ozon letztlich nichts anders als was der Übergang von nachwachsenden Brennstoffen zu fossilen Brennstoffen im 18. Jahrhundert bewirkte, um die Wälder zu schonen.**

**Ein Vorgang übrigens, für den Hans Carl von Carlowitz vor gut 300 Jahren den Begriff „nachhaltig“ einführte. Nachhaltig war er aber nur für die Wälder, die sich danach zumindest in Europa wieder ausbreiten konnten.**

**Nicht nachhaltig waren diese Entwicklungen für das Gesamtsystem Erde.**

## Unfähigkeit aus der Wirkung des Montreal-Protokolls für das CO<sub>2</sub> zu lernen

In diesem Zusammenhang ist es nur bedauerlich, dass wenige Jahre nach der Einigung über das Montreal Protokoll eine analoge Initiative zur Reduktion der Treibhausgase kurz vor Schluss scheiterte.

[Rich, N., 2018: Losing Earth: The decade we almost stopped climate change. A tragedy in two acts. New York Times Magazine, Aug. 5, 2018.](#)

Der Stellenwert der CFCs in der Weltwirtschaft ist doch wesentlich geringer gewesen als der der fossilen Brennstoffe. Damit war der Widerstand der einflussreichen Lobbyisten weit geringer und eine globale Absprache und Einigung konnte gelingen. Auch ließen sich wesentlich schneller Ersatzstoffe für die CFCs in Verkehr bringen als dies bei den fossilen Brennstoffen möglich ist.

Die Abkehr vom Feuer wird wesentlich länger dauern, wenn sie denn überhaupt gelingt. ([Soentgen, J., 2021: Der Pakt mit dem Feuer. Matthes & Seitz](#))

## Digitalen Erd-Zwilling

**Die vor uns liegende Aufgabe ist aber klar. Wir müssen zu Erdsystemmodellen kommen, mit denen wir die Konsequenzen von einzelnen Maßnahmen, denen Nachhaltigkeit nachgesagt wird, in Szenarien simulieren und prüfen können, um die Konsequenzen für das Gesamtsystem Erde abzuschätzen.**

**Und basierend auf solchen Szenarien müssen dann internationale Protokolle und Abkommen angestrebt werden, die die Lebensfähigkeit und das Überleben des Gesamtsystems Erde ermöglichen.**

**Idealerweise brauchen wir einen digitalen Zwilling der Erde.**

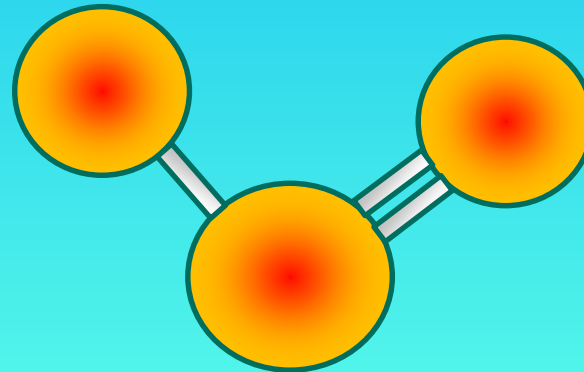


**früher/oben:  
UV-Strahlung**

**heute/oben:  
UV-Strahlung vs. FCKWs**

**StrahlungsfILTER**

**bedrohter Schutz**



**früher/unten:  
Blitze und Phosphor**

**heute/unten:  
Abgase und Sonne**

**reinigende Wirkung**

**Schadstoff**

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

